

基于TCP2nd的用户质差感知与保障的技术研究

Technical Research of User Quality Perception and Guarantee Based on TCP2nd

李晋,童磊,葛瑾(中国联合网络通信集团有限公司,北京100048)

Li Jin, Tong Lei, Ge Jin(China United Network Communication Group Co., Ltd., Beijing 100048, China)

摘要:

移网用户质差感知与保障机制是运营商提升用户上网体验、激发流量消费潜能、实现用户运营由规模向质量驱动转型的核心课题^[1-2]。基于TCP2nd指标,通过仿真实验与DPI大数据分析相结合的研究方法,系统性地开展了质差门限判定、小区负载动态计算、保障效果评估等技术研究。同时提出了质差感知与保障系统的技术架构,并针对TCP2nd指标在时延敏感业务场景中的局限性,提出了技术演进路径。

关键词:

质差感知与保障;TCP2nd;DPI;小区负载均衡;默载;5QI

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2025.08.015

文章编号:1007-3043(2025)08-0075-06

中图分类号:TN915

文献标识码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Abstract:

The perception and guarantee mechanism of the quality difference of the mobile network users is the core issue for operators to improve the user's online experience, stimulate the potential of traffic consumption, and realize the transformation of user operation from scale to quality-driven. Based on the TCP2nd index, it systematically carries out the technical research of quality difference threshold determination, dynamic calculation of cell load, guarantee effect evaluation and so on through the research method of combining simulation experiment and DPI big data analysis. At the same time, it proposes the technical architecture of quality difference sensing and guarantee system, and puts forward the technical evolution path for the limitations of TCP2nd index in delay-sensitive business scenarios.

Keywords:

Quality perception and guarantee; TCP2nd; DPI; Cell load balancing; Default bearer management; 5QI

引用格式:李晋,童磊,葛瑾. 基于TCP2nd的用户质差感知与保障的技术研究[J]. 邮电设计技术, 2025(8): 75-80.

1 概述

随着通信行业进入后5G时代,运营商移网用户规模已达亿级,传统用户增长红利逐渐消退。在超清视频、XR等新型业务的驱动下,用户对网络服务质量的要求显著提高,推动了运营商运营策略从用户规模扩张向用户价值深度挖掘的战略转型。在此背景下,构

建基于网络质量劣化感知的用户体验保障体系,通过精准识别网络质量劣化用户、实时网络资源调度优化、建立端到端的体验质量提升闭环,已成为运营商实现服务差异化竞争与流量价值转化的关键路径。

本研究基于TCP2nd指标体系,构建“仿真实验—大数据分析—场景验证—系统实现”的全链路研究方案。通过设计用户质差实验,结合DPI大数据分析建立评估模型,并在现网典型场景中进行了验证。最终,本文提出基于TCP2nd时延的用户质差感知及保障

收稿日期:2025-07-18

的系统架构,为运营商提升用户上网体验提供系统性的解决方案。

2 质差感知与保障指标研究

用户质差感知与保障的指标体系构建需满足2个约束条件:第一,感知评价指标需能客观评价用户上网质量;第二,默载加速保障能力与小区网络资源负载强相关,要求评价指标具备实时评价小区负载的能力以支撑保障策略的动态决策。

2.1 质差感知指标

质差感知指标体系多采用速率、时延、丢包等进行研究^[3-4],其中速率指标与终端上网APP相关,适用于APP的体验评估。因此,本研究选择时延与丢包2类指标来评估用户网络感知,其中时延指标包括TCP建链和业务传输2个阶段,分别选择TCP2nd和下行RTT进行测评。

通过构建网络拥塞仿真实验,分析用户网络质量

劣化感知与网络指标的相关性。实验结果如图1所示,其中红色标记表示感知质差事件,绿色表示感知正常事件。实验分析表明,时延类指标与网络劣化呈正相关(TCP2nd的相关系数为0.65,RTT的相关系数为0.56),而丢包指标相关性较弱(相关系数为0.01)。进一步分析可知,下行RTT测量数值受终端操作系统ACK响应机制差异的影响,导致跨终端场景下RTT存在计算误差,难以精准建立感知门限。因此,本研究选择TCP2nd作为核心评估指标,可准确感知用户质差。

2.2 小区负载动态评估指标

现网基于PRB利用率的小区负载评价体系^[5],无法实时评估小区负载变化,进而影响质差的保障效果。从技术原理方面分析,其主要原因如下:在无线资源调度机制中,考虑到多业务的差异化用网体验及背景用户的公平性,基站以0.5 ms为粒度周期实施无线传输优先级决策。但采用PRB利用率作为网络运

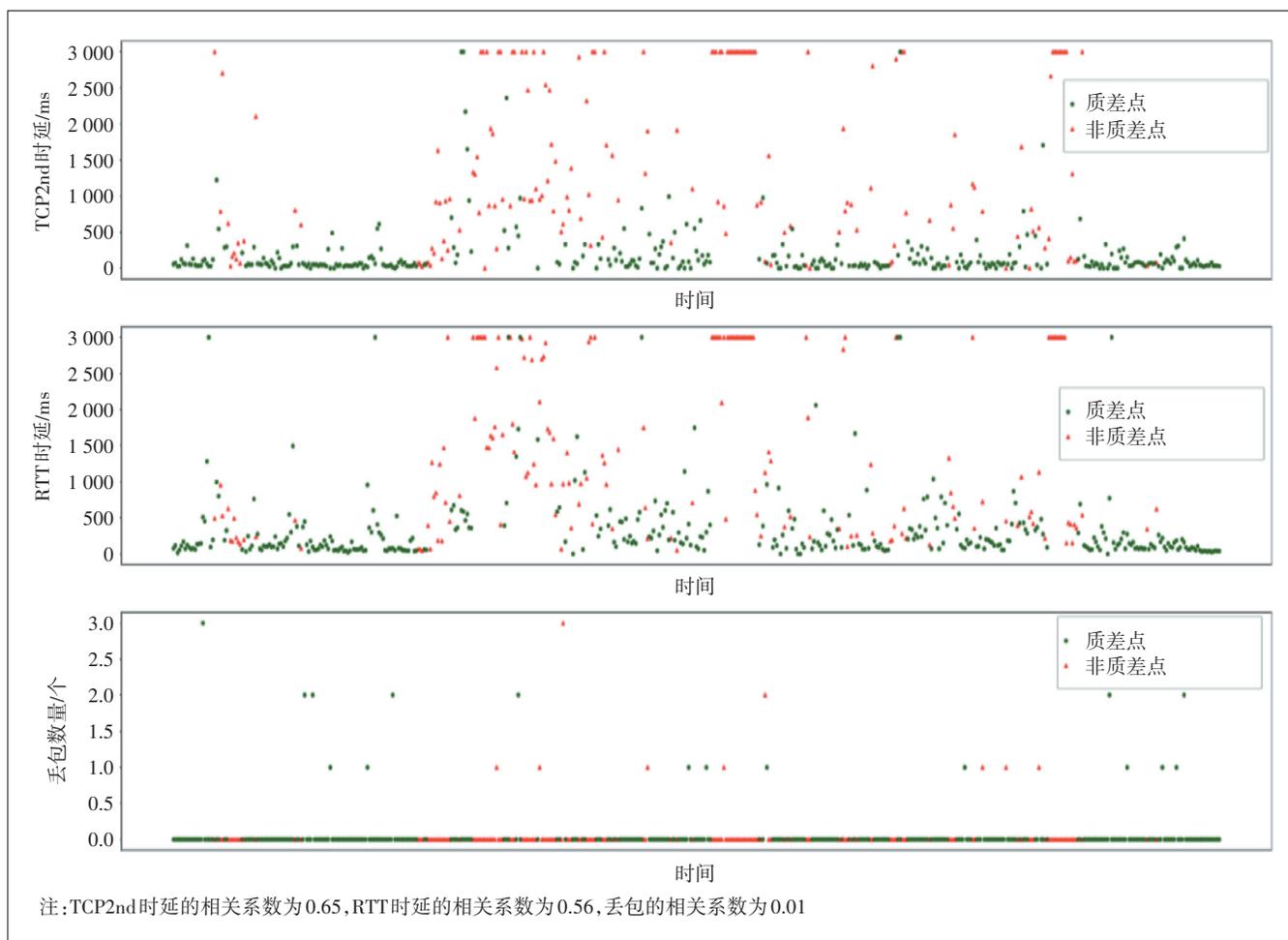


图1 用户质差感知与网络指标的相关性分析

维性能评估指标(统计周期为5~15 min)时,其与0.5 ms的无线调度周期存在显著时间差异,导致小区负载状态评价滞后,影响用户网络质量劣化保障效果。

实时精准评估小区负载波动对默载保障效果具有重要意义。本研究基于用户侧网络质量构建小区负载评估模型,通过实时采集小区接入用户的TCP2nd指标计算小区负载。在计算方式上,本文考虑了均值法与分位值法,其中均值法计算复杂度低,但易受质量劣化用户(如弱覆盖场景)的离群值干扰;分位值法通过截断处理可降低异常数据影响,但其统计有效性需建立在较大的数据规模基础之上。在实际应用中,可综合考虑DPI数据分布特性及系统性能要求,选择最优统计算法。

3 质差感知与保障模型研究

本研究基于TCP2nd指标,从3个维度构建用户质差感知及保障评估体系:用户质差感知阈值判定模型、小区负载动态实时评价模型,以及小区负载与默载保障效能的相关性分析。

研究采用仿真实验与大数据分析相结合的方法,通过构建小区网络拥塞场景,观测用户感知质量、小区负载波动与保障效果的相关性。为增强实验结论的可信性,本文基于DPI数据进行了进一步验证。因4G/5G仿真实验结论具有一致性,本文以4G网络实验展开分析。

3.1 仿真实验分析

本文的实验方案为通过网络加压模拟小区不同负载场景,选取2部终端分别执行视频流媒体应用测试(实验组启用默载保障策略,对照组维持常规配置),并对比分析不同负载条件下2组终端的用户体验质量指标及TCP2nd指标变化规律。实验条件如下。

a) 小区负载模拟。通过FTP文件下载对小区加压,加压梯度为70~200 Mbit/s,每个梯度加压10组、每组10 min。

b) 实验终端型号。2部同型号安卓终端。

c) 视频流媒体应用。抖音直播、腾讯视频。

d) 默载保障策略^[6-9]。实验组采用5QI7(无线调度权重为1 000),对照组采用5QI9(无线调度权重为400)。

e) 实验数据来源。用户体验数据由人工标注,TCP2nd采用DPI采集。

f) 其余约束条件。保证实验终端接入小区锁定,且终端信号良好。

通过加压模拟小区负载,统计2组用户的TCP2nd指标及感知指标的变化情况。实验基于小区负载分组统计数据如表1所示,实验原始数据分布如图2所示(红色散点为用户质差事件,绿色散点为用户体验正常事件)。

表1 用户网络质量劣化感知实验样本数据

加压实验	小区平均TCP2nd/ms	用户TCP2nd		用户感知	
		对照/ms	加速/ms	对照	加速
70 M	52	28	25	流畅	流畅
80 M	103	106	93	流畅	流畅
100 M	196	1 400	531	卡顿6次、卡顿总时长为83 s	卡顿5次、卡顿总时长为62 s
105 M	330	2 305	871	卡顿15次、卡顿总时长为219 s	卡顿5次、卡顿总时长为43 s
115 M	354	2 145	831	卡顿13次、卡顿总时长为158 s	卡顿6次、卡顿总时长为46 s
200 M	554	2 420	2 405	无法观看	无法观看

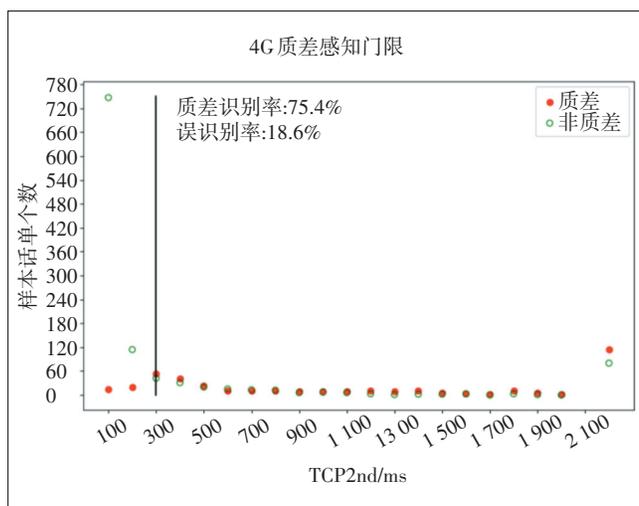


图2 网络质量劣化感知门限分析

基于质差实验数据分析结论如下。

a) 用户质差感知阈值判定。由图2可知,当TCP2nd时延超过300 ms阈值时,用户质差样本与体验正常样本呈现显著分界特征(质差识别准确率为75.4%,非质差误判率为18.6%)。针对实验中存在的低时延感知劣化样本与高时延体验正常样本这2类异

常数据进行分析,其原因为:DPI数据采集异常和实验人工标注误差。

b) 小区动态负载评估规则。由表1可知,小区接入用户的TCP2nd时延均值与小区网络资源负载正相关。在70~200 Mbit/s加压实验中,随着小区网络负载的提升,小区平均TCP2nd时延由52 ms上涨至554 ms,验证了小区时延均值作为实时负载评估指标的有效性。

c) 小区负载与默载效果分析。由表1可知,默认加速效果与网络负载状态呈现相关性。当小区加压在70~115 Mbit/s的中低负载区间时,实验组TCP2nd值低于对照组。当负载压力提升至200 Mbit/s时,由于网络资源趋于饱和,实验组与对照组时延改善差异不明显。

3.2 DPI数据验证

本研究基于DPI数据进一步验证默载保障机制与小区动态负载的关联性。实验选取现网部分4G小区作为样本集,采用TCP2nd均值和80分位值分别对比不同小区负载条件下5QI7(默载保障用户)与非5QI7(5QI6/8/9)的性能,评估指标设定为各负载区间内5QI7用户的TCP2nd时延表现占优的小区比例。小区负载与默载效果关系如图3所示,其中蓝色曲线为5QI7时延占优小区数量分布,黄色曲线为非5QI7时延占优小区数量分布,绿色比值曲线则量化呈现了5QI7占优程度的动态波动趋势。

分别基于TCP2nd的80分位值与均值进行统计,实验结果表明5QI7占优程度的分布规律基本一致(图

3中绿色曲线)。具体而言,当小区平均TCP2nd时延低于325 ms时,默载保障机制有效,且TCP2nd时延在125~325 ms内时默载保障效果显著提升,当小区平均TCP2nd时延大于325 ms时保障效果不明显。建立默载保障效果与小区网络负载的映射模型,将小区负载状态划分为3个等级,分别为轻载($0\text{ ms} < \text{TCP2nd} \leq 125\text{ ms}$)、中载($125\text{ ms} < \text{TCP2nd} \leq 325\text{ ms}$)以及重载($\text{TCP2nd} > 325\text{ ms}$)。

4 质差感知与保障场景应用

基于某省台风灾害场景验证网络质差仿真实验的结论。采集台风事件前后的DPI数据,通过TCP2nd指标分析在台风导致的基站退服场景下,用户网络质量波动规律,并评估默载保障机制对应急抢险人员的保障效果。本文以4G网络为例进行分析。

4.1 网络资源供需指标波动

分析台风灾害周期内小区网络资源供需动态变化的特征。基于对DPI数据的分析,台风导致可用小区数量较灾前基准显著下降,而上网用户数基本稳定,这导致网络资源供给不足。有话单小区统计和上网用户统计分别如图4与图5所示,台风登陆时,可用小区数量陡降,而上网用户数据除台风登陆时短暂陡降,其余时段与灾前趋势基本一致。

4.2 小区负载及用户网络质量波动

分析台风灾害场景下小区网络负载与用户上网业务质量的关联关系。基于对TCP2nd的分析,大规模小区退服导致可用小区网络负载增加,小区网络负

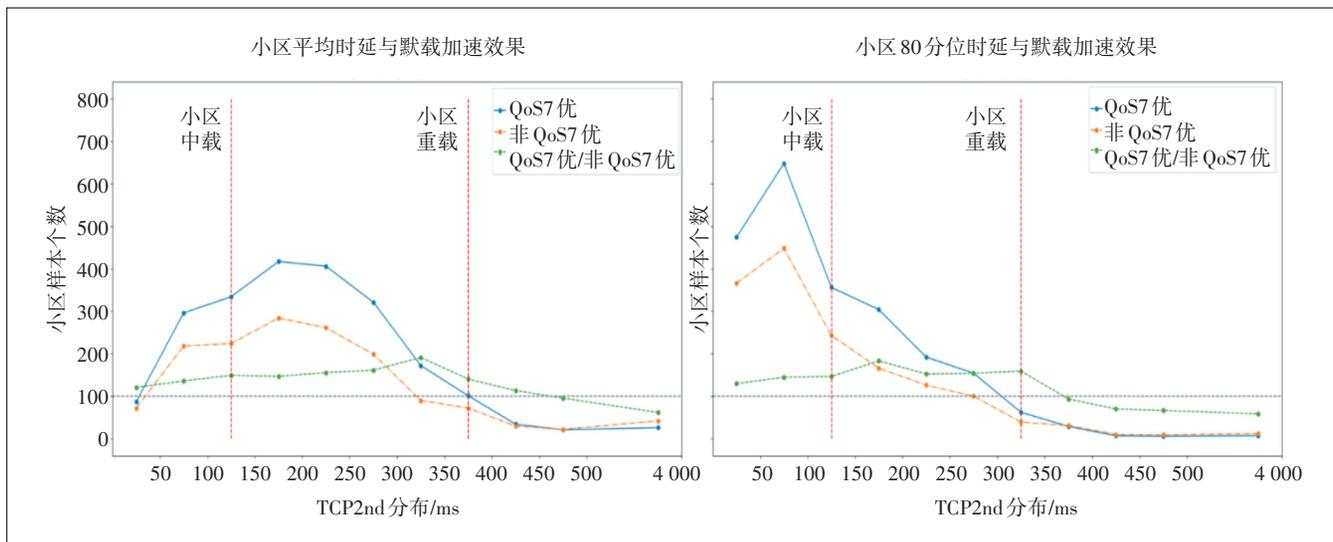


图3 小区负载与默载效果关系

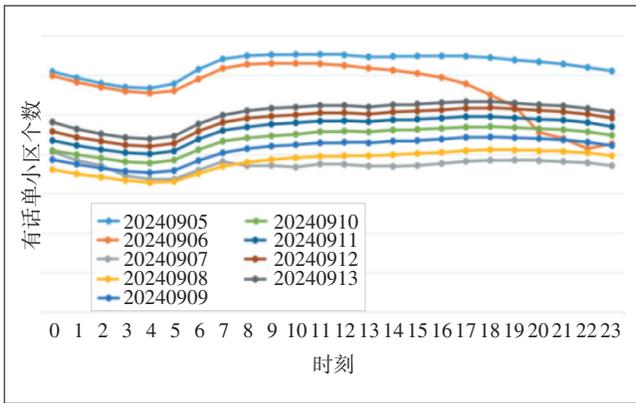


图4 有话单小区统计

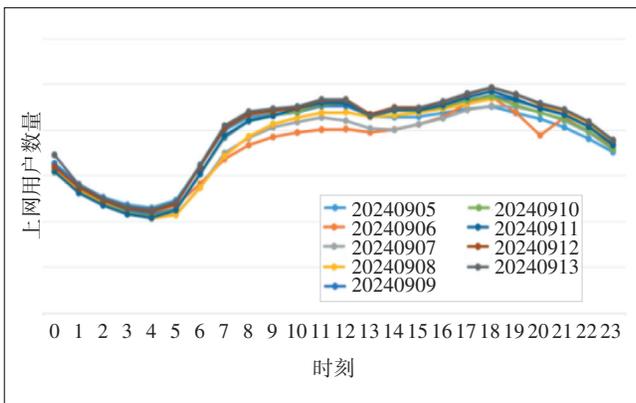


图5 上网用户统计

载与用户上网业务质量劣化呈正相关。小区平均时延统计如图6所示,对比灾前的小区平均时延,9月7日小区平均时延显著上涨。进一步分析显示,低时延用户(TCP2nd<100 ms)占比下降32.89%,而高时延用户(TCP2nd>300 ms)占比上升22.49%。

4.3 默载保障效果分析

针对抢险救灾团队评估默载保障效果,选取业务

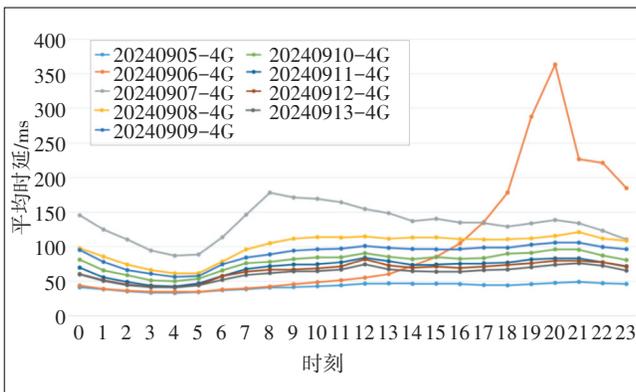


图6 小区平均时延统计

密集时段(08:00—23:00)进行采样分析,实验数据如图7所示。在业务高峰时段(08:00—10:00及14:00—23:00),保障用户的TCP2nd(为50 ms)显著优于小区平均时延(为200~300 ms);在11:00—13:00时段,默载保障未呈现优化效果,溯源识别该时段救灾团队集中接入2个高负载小区(见图8,不同颜色的折线代表不同小区负载波动,其中虚线为高负载小区,小区平均TCP2nd>500 ms),验证了默载保障效果与小区负载相关的实验结论。

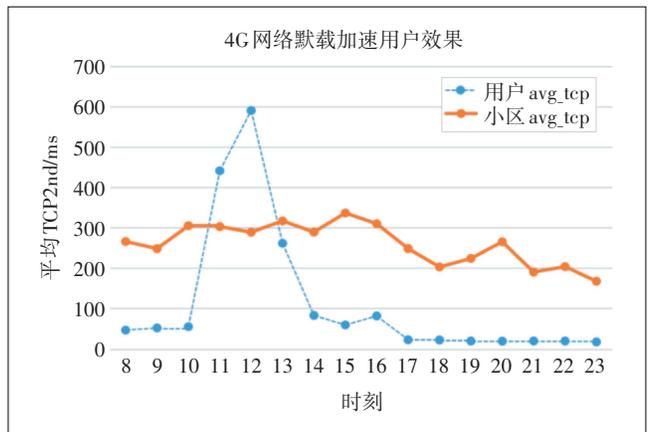


图7 默载保障效果分析

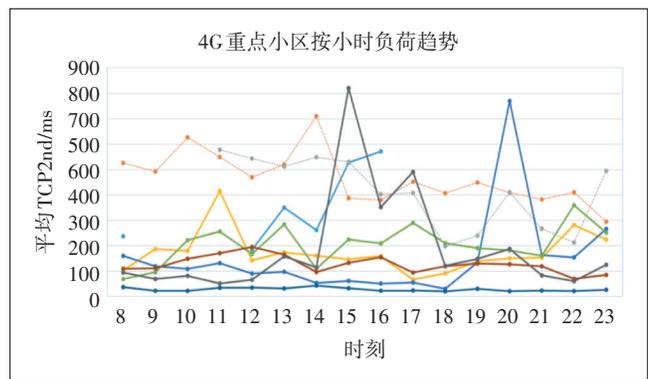


图8 重点小区平均时延

5 网络质量劣化感知及保障系统

基于TCP2nd的网络质量劣化感知及保障系统的核心组件包括实时质差感知与保障模块、离线保障效能评估模块(见图9),各模块功能如下。

a) 实时质差感知与保障模块。基于Kafka+Flink构建流式计算架构的实时处理引擎,通过数据清洗、小区负载评估、劣化感知判定、保障决策及退出机制,最终调用QoS保障系统实现劣化保障。

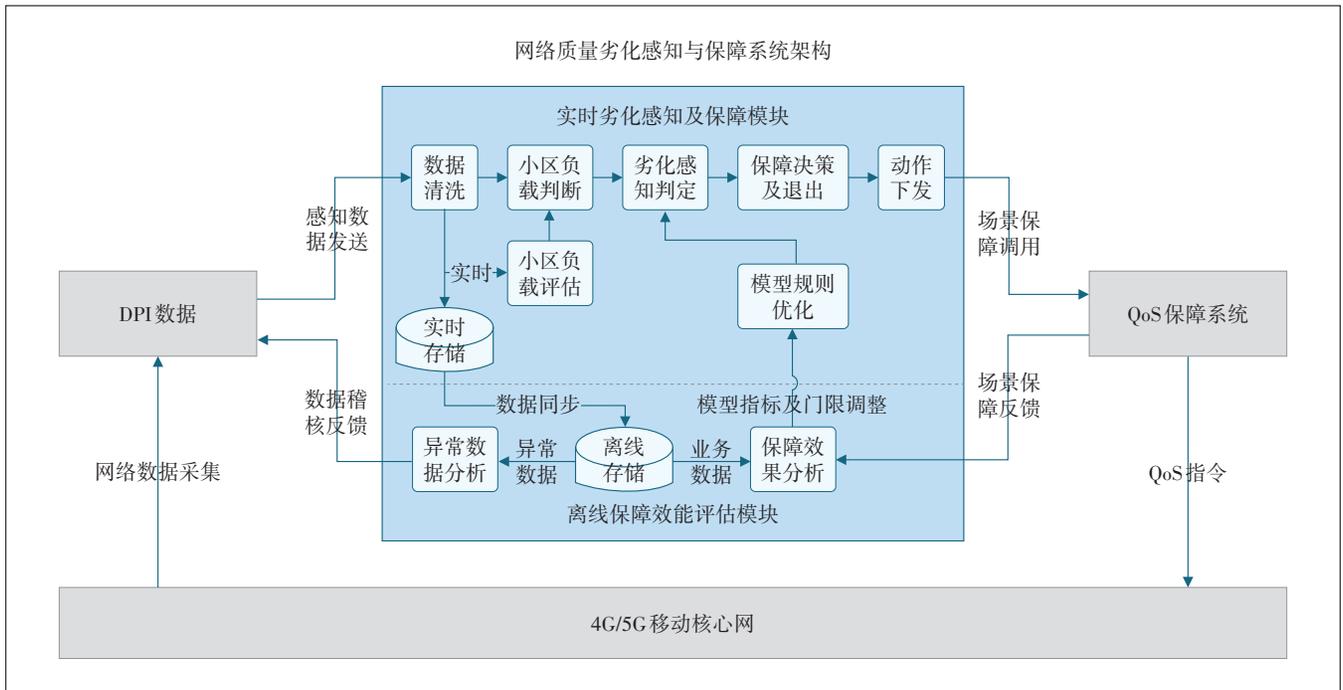


图9 系统架构方案

b) 离线保障效能评估模块。构建闭环质量评估体系,包括数据质量稽核和保障效果评估这2个核心功能。数据质量稽核存储并分析实时模块识别的异常数据,提升数据的准确性。保障效果评估则基于TCP2nd评估用户保障前后的效果,实现不同数据维度分析的自动上卷下钻,用于优化感知及保障模型。

6 结束语

基于TCP2nd时延的质差感知与保障系统可提升网络质差用户的体验,兼顾网络保障资源能效优化。同时,系统自动统计质差用户分布,可用于灵活调整保障策略,并高效支撑救援车、应急基站等的调度部署。

通过实验数据分析可知,现有TCP2nd指标约16.7%的数值非空采样间隔超过10s,影响网络质差用户的实时判别。后续可基于机器学习^[10]并引入更丰富的网络指标,提升用户网络劣化感知模型的准确性和时效性。

参考文献:

[1] 李玉铭. 基于面向5G的移动通信技术及其优化研究[J]. 数字通信世界, 2019(8): 66-67.
[2] 方汝仪. 5G移动通信网络关键技术及分析[J]. 信息技术, 2017

(1): 142-145.

[3] 蔡子龙, 王晓刚, 史文祥, 等. 移动用户感知预判与数字化运营探讨[J]. 邮电设计技术, 2021(6): 35-40.
[4] 于新. 无线网络中端到端视频流业务的用户体验质量预测及优化技术[D]. 杭州: 浙江大学, 2013.
[5] 刘通. 移动视频业务端到端优化分析[J]. 中国新通信, 2018, 20(5): 73.
[6] 许强, 郭威, 常艳生. 基于用户价值的LTE网络差异化QoS策略实施的研究[J]. 邮电设计技术, 2019(6): 88-92.
[7] 韩军峰, 张勃, 李福昌, 等. LTE系统中QoS参数研究[J]. 邮电设计技术, 2016(6): 39-43.
[8] 徐宇辉. 基于网络状态的移动运营商QoS能力开放研究[J]. 理工大学学报, 2018, 37(5): 46-50, 69.
[9] 杨振东, 冯铭能. 一种基于分层架构的端到端QoS保障系统与方法[J]. 邮电设计技术, 2021(3): 84-88.
[10] 周晶, 王德政, 洪科. 5G网络智能运维AI应用研究[J]. 邮电设计技术, 2021(11): 83-87.

作者简介:

李晋, 助理研究员, 博士, 主要从事系统架构设计及研发工作; 童磊, 高级工程师, 硕士, 主要从事移网创新产品研发、移网核心网技术研究工作; 葛瑾, 高级工程师, 硕士, 主要从事移网核心网技术、移网创新产品设计工作。